

DEUTSCHES PATENTAMT



Deutsche Kl.: 42 h, 34/11
42 h, 38
42 b, 8/02

Offenlegungsschrift 2 133 803

Aktenzeichen: P 21 33 803.4

Anmeldetag: 7. Juli 1971

Offenlegungstag: 13. Januar 1972

Ausstellungspriorität: —

Unionspriorität

Datum: 10. Juli 1970

Land: Österreich

Aktenzeichen: A 6339-70

Bezeichnung: Interferometrisches oder moiremetrisches Verfahren

Zusatz zu: —

Ausscheidung aus: —

Anmelder: Vockenhuber, Karl, Ing.; Hauser, Raimond, DDr.; Wien

Vertreter gem. § 16 PatG: Jackisch, W., Dipl.-Ing., Patentanwalt, 7000 Stuttgart

Als Erfinder benannt: Schwomma, Otto, Dr., Schwechat (Österreich)

Best Available Copy

DT 2133803

Ing. Karl Vockenhuber, 1180 Wien, Pötzleinsdorferstraße 118

DDr. Raimund Hauser, 1040 Wien, Goldegg-Gasse 2.

A 32 403

- 6. Juli 1971

"Interferometrisches oder moirémetrisches Verfahren"

Die Erfindung bezieht sich auf ein interferometrisches oder moirémetrisches Verfahren, bei dem ein erstes, ein Hell - Dunkel - Frequenzmuster aufweisendes Bild zunächst gespeichert, hierauf diesem ersten Bild ein zweites, ebensolches Bild

überlagert wird. Derartige Verfahren werden für die Feststellung von Deformationen oder Ortsveränderungen von Objekten beliebiger Art sowie von Brechungsindexänderungen durchsichtiger Festkörper, Flüssigkeiten oder Gasen verwendet, wobei je nach der geforderten Empfindlichkeit holographisch - interferometrische oder moirémetrische Methoden angewendet werden. Hierbei werden wenigstens zwei Hell - Dunkel - Frequenzmuster aufweisende Bilder des zu untersuchenden Objekts, welche Bilder verschiedenen Zuständen desselben entsprechen, nacheinander in einer Abtastebene entworfen.

Bei bekannten Verfahren der holographischen Interferometrie werden Änderungen an einem Objekt dadurch erkennbar gemacht, daß die verschiedenen Zuständen des Objekts entsprechenden Wellenfronten kohärent überlagert werden, wobei sich je nach den örtlichen Phasendifferenzen helle und dunkle Stellen im rekonstruierten Bild ergeben. Da die verschiedenen Zustände des Objekts zeitlich voneinander getrennt sind, die dazugehörigen

Wellenfronten aber nur gleichzeitig zur Interferenz gebracht werden können, ist es notwendig, zumindest eine Wellenfront amplituden- und phasentreu zu speichern. Hierzu bediente man sich bisher des Hologramms, wobei sich ein verhältnismäßig großer Zeitaufwand für den einzelnen Testvorgang ergab. Der Grund hierfür ist darin gelegen, daß für die Herstellung des Hologramms nur Materialien bekannt sind, die entweder sofort nach der Belichtung das Hologramm ergeben, jedoch wegen ihrer geringen Empfindlichkeit verhältnismäßig lange Belichtungszeiten oder hohe Strahlungsenergie erfordern, oder Materialien bei denen die durch die Belichtung hervorgerufenen chemischen oder physikalischen Veränderungen nachträglich verstärkt werden müssen. Die letzteren Materialien weisen zwar eine höhere Empfindlichkeit auf, jedoch ergibt sich hier wieder ein Zeitaufwand für die verstärkende Nachbehandlung, wie dies bei der Entwicklung, Fixierung und Trocknung eines Films der Fall ist. In den DOS 1, 922.772 und 1, 547.439 wurden zwar Vorschläge zur Abkürzung des Verfahrens gemacht, jedoch ist für viele Anwendungsgebiete eine weitere Verkürzung des Verfahrens erwünscht. Es ist nun zwar bereits bekannt, die Hell - Dunkel - Frequenzen eines Hologramms fernsehmäßig abzutasten und zu übertragen. Dies erfolgte jedoch zur Erzielung eines räumlichen Fernsehens, wobei das Hologramm optisch rekonstruiert wurde. Deshalb und wegen des verhältnismäßig großen Aufwandes kann dieses Verfahren in der bekannten Weise für die Zwecke der Erfindung nicht in Betracht kommen. Eine Zusammenfassung dieser bekannten Verfahren ist in der Zeitschrift "Fernseh- und Kinotechnik" 1970, Nr. 2 auf den Seiten 42 bis 46 enthalten.

Durch die Erfindung soll ein Verfahren geschaffen werden, daß Bilder der oben definierten Art rasch und praktisch ohne Zeitverlust ausgewertet, besonders sichtbar gemacht werden können, und die Erfindung besteht im wesentlichen darin, daß die Bilder, wie an sich bekannt, vorzugsweise elektronisch abgetastet und dabei Abtastsignale, besonders Videosignale hergestellt werden, und daß ein Ausgangssignal erzeugt wird, das der Überlagerung des ersten und dem zweiten Bild entspricht, wobei dieses Ausgangssignal zur Feststellung von Unterschieden zwischen den beiden Bildern vorzugsweise zu einem dritten, die Unterschiede in Form eines Hell - Dunkel - Frequenzmusters anzeigenden Bild verarbeitet wird. Dieses Verfahren sichert eine rasche Auswertung wobei als Auswerte-

gerät vor allem ein Monitor in Frage kommt. Besonders, wenn die Helligkeitsänderungen zumindest in einem bestimmten Bereich gleich sein sollen, läßt sich eine Auswertung des Ausgangssignals auch so durchführen, daß dieses einem Oszillographen zugeführt wird. Jede Helligkeitsänderung und damit jede Änderung der Frequenz des Ausgangssignals kann dabei rasch festgestellt werden. An Stelle des Oszillographen kann auch ein Impulsspeicher vorgesehen sein, der beispielsweise von einem aufzuladenden Kondensator gebildet ist. Auch ein elektrisches oder mechanisches Zählwerk ist zu diesem Zweck geeignet. In jedem Fall wird dann der Zählerstand bzw. die Größe der Aufladung innerhalb einer Zeiteinheit mit einem Sollwert verglichen. Wiewohl die fernsehmäßige Abtastung besonders bevorzugt ist, so ist die Erfindung doch keineswegs darauf beschränkt. In gleicher Weise ist es möglich, eine Abtastung mechanisch durch Bewegen eines entsprechenden Empfängers, z. B. eines Mikrophons für Ultraschall, eines Mikrowellenempfängers für Mikrowellen oder eines Bolometers für Infrarot, durchzuführen. Auch kann eine matrizenförmige Anordnung mehrere Empfänger verwendet werden die beispielsweise durch ein Schieberegister, nacheinander abgefragt werden.

Gerade bei der fernsehmäßigen Abtastung des Hell - Dunkel - Frequenzmusters von Hologrammen bedarf es besonderer Einrichtungen um diese Muster an das Auflösungsvermögen der zugehörigen Einrichtung anzupassen. Hierzu wurde gemäß der eingangs zitierten Literaturstelle ein Linsenraster vorgeschlagen. Bei kleinen Gegenständen bei denen daher die Winkel zwischen den vom Objekt kommenden Strahlen und den Referenzstrahl gering gehalten werden könne, ergeben sich ebenfalls geringe Hell - Dunkel - Frequenzen, so daß Schwierigkeiten nicht zu befürchten sind. Schwierigkeiten ergeben sich also lediglich bei größeren Gegenständen. Zur Vermeidung dieser Nachteile wird im Rahmen der Erfindung vorgeschlagen, zur fernsehmäßigen Auswertung der primären Interferenzen eines Hologramms mittels eines elektronisch abtastbaren lichtempfindlichen Schirmes, auf den Schirm mittels eines optischen Systems ein Bildebenenhologramm zu erzeugen, und den Referenzstrahl annähernd im Zentrum der Aperturblende des optischen Systems, oder in einer zu dieser konjugierten Ebene zu fokussieren. Gleichmäßige

Verteilung der Ortsfrequenzen sind wichtig wegen Modulationsübertragungseigenschaften der Abtaströhren. Auf diese Weise werden auch die hohen Anforderungen an die Präzision der Überlagerung erfüllt, besonders, wenn für das Speichern des ersten Bildes ein Speichervidikon oder dgl. verwendet wird. Es hat sich aber gezeigt, daß auch nichtvignettierende Blenden zwischen optischem System und Abtastebene Verwendung finden können, in deren oder in eine hierzu konjugierte Ebene der Referenzstrahl fokussiert werden kann.

Nachstehend sei der Erfindung an Hand der Zeichnung erläutert. Fig. 1 veranschaulicht eine Anordnung zum Erzeugen der primären Interferenzen eines Hologramms auf einen Schirm, wobei der Referenzstrahl nahe des Aperturblendenzentrums fokussiert ist. Hingegen veranschaulicht Fig. 2 den Fall, daß der Referenzstrahl im Zentrum Aperturblende fokussiert ist. Die Fig. 3 bis 6 sind Diagramme zur Veranschaulichung der Intensitätsverteilung, wobei Fig. 3 die Verteilung für den Referenzstrahl, Fig. 4 die Verteilung für den Objektstrahl darstellen. Hingegen zeigt Fig. 5 die Intensitätsverteilung der überlagerten Bilder bei einer Phasenverschiebung entsprechend einem ungeradzahligen Vielfachen von π und Fig. 6 die entsprechende Intensitätsverteilung bei einer Phasenverschiebung von einem geradzahligen Vielfachen von π . Fig. 7 zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung im Schema.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich vorzugsweise und mit verhältnismäßig geringem Aufwand mittels einer Fernseheinrichtung realisieren. Wesentlich ist dabei, daß auf eine optische Rekonstruktion verzichtet wird, woraus sich eine erhebliche Reduktion der Präzisionsanforderungen ergibt. Wegen der Modulationsübertragungseigenschaften der bekannten Abtaströhren soll die örtliche Intensitätsverteilung des Interferenzmusters des Hologramms möglichst niedrige, über das gesamte Bildformat gleichmäßig verteilte Ortsfrequenzen aufweisen, wodurch beim Abtasten eine gleichmäßige Güte der Modulationsübertragung gewährleistet ist.

Gemäß Fig. 1 wird dies nun dadurch erreicht, daß vom Objekt kommende Strahlen 21, 22, 23, 24 zur Erzeugung eines Bildebenenhologramms ein optisches System durchlaufen, von dem in Fig. 1 lediglich eine Aperturblende 27 schematisch dargestellt ist. Anschließend werden die Objektstrahlen 21 bis 24 mit Referenzstrahlen 25, 26 auf einem Schirm 28 zur

Interferenz gebracht. Die Referenzstrahlen 25, 26 sind in einem Punkt 29 nahe der Ebene der Aperturblende 27 fokussiert. Wie ersichtlich schließen die Referenzstrahlen 25, 26 mit den Randstrahlen 21, 22 Winkel α_1 , α_2 ein, mit den Randstrahlen 23, 24 die Winkel β_1 , β_2 . Durch diese Winkel werden die Hell - Dunkel - Frequenzen des Interferenzmusters begrenzt, und Fig. 1 zeigt deutlich, daß diese Winkel nur geringe Unterschiede untereinander aufweisen.

Noch geringere Unterschiede und die geringsten Frequenzen erhält man, wenn gemäß Fig. 2 das Referenzstrahlenbündel mit den Randstrahlen 25, 26 und einem mittleren Strahl 30 im Zentrum der Aperturblende 27 fokussiert wird. Die Objektstrahlen 21 bis 24 und 31, 32 schließen dann mit den zugehörigen Referenzstrahlen 25, 26, 30 Winkel ein, die auf der gesamten Bildfläche etwa dem halben Aperturwinkel gleichkommen. Damit hat man es in der Hand, durch Verstellen der Aperturblende 27 den Winkel zwischen den Objektstrahlen und den Referenzstrahlen zu regeln und so die Hell - Dunkel - Frequenzen des sich ergebenden Interferenzmusters an die Modulationsübertragungseigenschaften der jeweils verwendeten Abtaströhre anzupassen.

Bezeichnet man die örtliche Amplituden- und Phasenverteilung der Objektwellenfront in der Abtastebene mit $a_{(x,y)} e^{i(\omega t - \varphi_{(x,y)})}$ die der Referenzwellenfront mit $b_{(xy)} e^{i(\omega t - \delta_{(xy)})}$, wobei x und y die Koordinaten der Abtastfläche, $\varphi_{(xy)}$ und $\delta_{(xy)}$ die örtlichen Phasen für $t=0$ und ωt den zeitlichen Phasenverlauf der Wellen darstellen, so erhält man für die örtliche Intensitätsverteilung, $J_{(xy)}$ in der Abtastebene den Ausdruck:

$$J = / a \cdot e^{i(\omega t - \varphi)} + b \cdot e^{i(\omega t - \delta)} / : \text{konj. kompl.}$$

$$= a^2 + b^2 + 2 a b \cos (\varphi - \delta)$$

wobei die Indices (x,y) zur Vereinfachung weggelassen sind.

Informationen über die Wechselwirkung bzw. Interferenz zwischen Objekt- und Referenzstrahl sind ausschließlich im letzten Glied dieses Ausdrucks $2 a b \cos (\varphi - \delta)$ enthalten.

Das Glied b^2 ist ein Ausdruck für die Intensitätsverteilung der Referenzwellenfront, die in der Regel über das Bildformat weitgehend konstant ist (Fig. 3), das Glied a^2

gibt die Intensitätsverteilung der Objektwellenfront wieder, die bei streuenden Objekten die für kohärente Strahlung charakteristische Granulation aufweist – eine statistische Intensitätsverteilung, die durch die Interferenz der Objektstrahlen untereinander entsteht und daher ebenfalls aperturabhängig ist (Fig. 4).

Werden am Objekt Veränderungen vorgenommen, so ändert sich die Objektwellenfront in der Abtastebene auf

$$c_{(x,y)} = e^{i(\omega t - \varphi_{(x,y)})} \quad c_{(x,y)} \dots \dots \text{neue Amplitudenverteilung}$$

$$\varphi_{(x,y)} \dots \dots \text{neue Phasenverteilung}$$

Für kleine Veränderungen am Objekt kann die Änderung der Amplitudenverteilung der Objektwellenfront in der Bildebene mit guter Näherung als Verschiebung der ursprünglichen Amplitudenverteilung beschrieben werden

$$c_{(x,y)} \approx a_{(x + \Delta x, y + \Delta y)}$$

wobei sich die Verschiebungsgrößen Δx und Δy aus den örtlichen Verschiebungen des Objekts in den zu x und y parallelen Richtungen und dem Abbildungsmaßstab ergeben.

Sind Δx und Δy im Vergleich zu den mittleren Abständen des Intensitätsmaxima und- minima der Granulation sehr klein, so gilt für die weitere Rechnung näherungsweise

$$c_{(x,y)} \approx a_{(x,y)}$$

sowie $\varphi_{(x,y)} \approx \varphi_{(x,y)} + \Delta \varphi_{(x,y)}$

und die Objektwellenfront kann mit

$$a_{(x,y)} \cdot e^{i(\omega t - \varphi_{(x,y)} - \Delta \varphi_{(x,y)})}$$

beschrieben werden, wobei $\Delta \varphi_{(x,y)}$ die durch die Objektänderung bedingte örtliche Phasenverschiebung darstellt. Die Intensitätsverteilung $2J_{(x,y)}$ in der Bildebene, die durch die Interferenz mit dem ungeänderten Referenzstrahl entsteht, ist dann gegeben durch

$$J_2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos (\varphi - \vartheta + \Delta \varphi)$$

Eine Überlagerung der beiden Bildebenenhologramme ergibt eine Intensitätsverteilung $J_{\text{gesamt}} = J_1 + J_2$ nach

$$J_{\text{ges.}} = 2(a^2 + b^2) + 2ab ((\cos(\varphi - \vartheta) + \cos(\varphi - \vartheta + \Delta \varphi)))$$

Aus der Gleichung ist ersichtlich, daß für $\Delta \varphi = (2n + 1) \cdot \pi$ die Interferenzterme wegfällen und für $\Delta \varphi = 2n \cdot \pi$ ein Maximum ergeben. Somit weisen jene Objektteile, durch deren Veränderung die kohärente Strahlung um ein ungeradzahliges Vielfaches von π phasenverschoben wird, eine Intensitätsverteilung auf, die nur durch die Granulation des Objektstrahles schwach moduliert ist (Fig. 5), während jene Teile, für die die Phasenverschiebung ein geradzahliges Vielfaches von π ausmacht, eine durch die Interferenzterme stark modulierte Intensitätsverteilung aufweisen (Fig. 6).

Zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer bevorzugten Ausführungsform sowie einer Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens sei nachstehend ein in der Fig. 7 schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel beschrieben.

Ein von einem Laser 1 ausgesandtes Lichtstrahlenbündel 2 wird mittels eines teildurchlässigen Spiegels 3 in einen Objektstrahl 4 und einen Referenzstrahl 5 aufgeteilt. Der Objektstrahl 4 wird mittels einer Hilfoptik 6 auf ein Objekt 7 gerichtet, von dem ein reflektiertes Strahlenbündel 8 einem optischen Hauptsystem 9 zugeführt wird. Das Hauptsystem 9 besitzt vorzugsweise eine verstellbare Aperturblende 10. Mittels der Blende 10 werden die von einem Punkt P des Objektes 7 herrührenden Randstrahlen zu großen Winkels entfernt, wobei man es auf diese Weise in der Hand hat, den von den Randstrahlen des vom Objekt 7 reflektierten Strahlenbündels mit dem später eingeblendeten Referenzstrahl eingeschlossenen Winkel klein genug zu wählen, damit die entstehenden Hell-Dunkel-Frequenzen dem Auflösungsvermögen einer Fernsehkameraröhre entsprechen. Vom optischen Hauptsystem 9 gelangt der Strahl 8a durch einen weiteren teildurchlässigen Spiegel 11 hindurch auf den Schirm einer Fernsehkameraröhre 12.

Der Referenzstrahl 5 wird nun über einen Umlenkspiegel 13 und ein optisches Hilfssystem 14 zunächst in einer zur Ebene der Aperturblende 10 des optischen Hauptsystems 9 konjugierten Ebene 14a fokussiert und anschließend ebenfalls dem teildurch-

lässigen Spiegel 11 zugeführt, der im Strahlengang des vom optischen Hauptsystem 9 kommenden Lichtes liegt, so daß auch der Referenzstrahl auf den Lichtschirm der Fernschkamararöhre 12 gelangt. Dadurch, daß der Referenzstrahl in der Ebene 14a fokussiert ist, die zur Ebene der Blende 10 konjugiert ist, scheint der Referenzstrahl aus dem Zentrum der Hauptoptik 9 zu kommen. Durch Änderung der Apertur mittels der Blende 10 kann der zwischen den Randstrahlen des Strahlenbündels 8a und dem Strahl 5 eingeschlossene Winkel verändert werden. Da der Referenzstrahl aus dem Zentrum der Optik zu kommen scheint, wird praktisch der zwischen den äußersten Randstrahlen eingeschlossene Winkel durch den Referenzstrahl halbiert. Handelt es sich darum, lediglich die Hell-Dunkel-Frequenzen des so hergestellten Hogrammes sichtbar zu machen, so können die von der Fernschkamararöhre 12 gelieferten Impulse unmittelbar einem Fernsempfänger 15 zugeführt werden. Zur Durchführung interferometrischer Prüfungen wird jedoch vorzugsweise für die Fernschkamararöhre 12 ein Speichervidikon verwendet, auf dessen Schirm zunächst das Hologramm des Objektes 7 entworfen wird. Anschließend wird das Objekt, beispielsweise ein zu prüfender Gummireifen, verändert, z. B. der Reifen aufgepumpt. Nun wird ein zweites Hologramm bei gleicher Anordnung der in der Zeichnung dargestellten Einrichtungen auf dem Schirm des Speichervidikons entworfen und die beim Abtasten gewonnenen Wechselstromsignale auf eine der oben beschriebenen Methoden ausgewertet und dem Empfänger 15 zugeführt.

Beim Abtasten werden die örtlichen Intensitätsmodulationen in zeitliche Modulationen des Videosignals umgewandelt. Um am Monitor stark und schwach modulierte Bildteile unterscheiden zu können, gibt es verschiedene Auswertmöglichkeiten:

1. Die Gradationskennlinie der Bildwiedergabe wird so angesteuert, daß nur die absoluten Intensitätsmaxima hell erscheinen. Die schwächer modulierten Bildteile erscheinen dann dunkel, die stark modulierten fleckig aufgehellt.
2. Die Gradationskennlinie wird so angesteuert, daß nur die Intensitätsminima dunkler erscheinen. Die schwach modulierten Teile erscheinen dann hell, die stärker modulierten fleckig abgedunkelt.
3. Die Frequenzbereiche im Videosignal, die den Ortsfrequenzen der Intensitäts-

verteilung im Bildebenenhologramm entsprechen, die durch die Interferenz von Objekt- und Referenzstrahl entstehen, werden mit Hilfe eines nichtlinearen Verstärkers, der sowohl selektiv als auch nicht selektiv ausgeführt sein kann, verstärkt und gelangen als Eingangssignal in den Monitor. Unterschiede in der Modulationstiefe werden damit in Helligkeitsunterschiede umgewandelt. Da die Frequenzbereiche der Granulation und der Objekt - Referenzstrahl - Interferenzen durch die Aufnahmegeometrie so gesteuert werden können, daß sie nicht identisch sind, können diese Helligkeitsunterschiede durch die Verwendung eines geeigneten selektiven Verstärkers noch vergrößert werden.

Die beiden erstgenannten Methoden sind zwar einfacher, ergeben aber unter Umständen fleckig strukturierte Bilder und sind nur bei gleichmäßig hellen Objekten anzuwenden.

Bei der dritten Methode, die als elektronisches Analogon zur optischen Rekonstruktion angesehen werden kann, fallen diese Nachteile weitgehend weg.

Auch für die Überlagerung der beiden Bildebenenhologramme gibt es mehrere Möglichkeiten. So kann das erste davon abgetastet und in einem der bekannten Fernsehbildspeicher aufgezeichnet werden, worauf beim Abtasten des zweiten die beiden Videosignale synchron überlagert werden, oder die beiden Bilder werden in einem geeigneten Speicher einander überlagert und gemeinsam abgespielt. Eine weitere Möglichkeit stellt die Verwendung einer Abtaströhre mit Speichereigenschaften, z. B. eines Speichervidikons dar. Die strahlungsempfindliche Schicht wird nacheinander den Intensitätsverteilungen der zu überlagernden Hologramme ausgesetzt und deren Summe dann abgetastet. Die Speichereigenschaften der Röhren müssen dann natürlich auf die Zeitintervalle abgestimmt sein, die zwischen den Einzelbelichtungen erforderlich sind. Diese letzte Methode hat den Vorteil, daß die exakte Überlagerung der Hologramme von vornherein gegeben ist und keine zusätzlichen Präzisionsvorkehrungen notwendig macht.

Neben der Doppelbelichtungsmethode der holographischen Interferometrie, bei der zwei konkrete Zustände eines Objekts verglichen werden, sind auch Untersuchungen nach der sogenannten Zeitdurchschnittsmethode ("time average") möglich, bei der periodi-

sche Bewegungen an Objekten studiert werden. Die Intensitätsverteilungen der Bildebenen-hologramme, die den verschiedenen Schwingungsphasen des Objektes entsprechen, werden über eine oder mehrere Schwingungsperioden summiert und das aus dieser Summe resultierende Videosignal wieder in einer der oben beschriebenen Arten zum Bild weiterverarbeitet. Örtlich unterschiedliche Schwingungsamplituden am Objekt führen im allgemeinen zu örtlich verschiedenen Phasenschwankungen der Objektwellenfront gegenüber der Referenzwelle und werden am Monitor wieder in Form eines Hell - Dunkel - Frequenzmusters sichtbar. Die Lage der Streifen dieses Musters ist von der Amplitude der örtlichen Phasenschwankung $\Delta\varphi$ abhängig und kann bekanntlich durch die Besselfunktion $J_0(\Delta\varphi)$ beschrieben werden.

Die Empfindlichkeit interferometrischer Methoden für die Sichtbarmachung kleinster Veränderungen an Objekten kann durch Änderungen der Beleuchtungsgeometrie bei der Hologrammaufnahme sowie durch die Verwendung von Strahlung mit anderer Wellenlänge vergrößert und verkleinert werden. Die zu messenden Veränderungen werden aber in der Größenordnung von höchstens einigen Wellenlängen der verwendeten Strahlung liegen, was die in der obigen Rechnung vorgenommenen Näherungen rechtfertigen.

Für die Messung größerer Veränderungen haben sich Moirémethoden bewährt. Auf den Meßobjekten werden dabei regelmäßige Muster erzeugt, die bei Veränderungen des Objektes ihre Lage ändern. Diese regelmäßigen Muster, vorzugsweise Strich- oder Streifengitter können in bekannter Weise aufgedruckt oder photographisch aufgebracht werden, oder sie werden durch streifenförmige Beleuchtung, z. B. durch optische Projektion eines Gitters auf das Objekt oder durch Beleuchtung mit zwei einander schneidenden kohärenten Strahlen, deren Interferenzen auf dem Gegenstand ein Streifenmuster ergeben, erzeugt. Wird das durch die Objektänderung deformierte Gitter dem unveränderten des Ausgangszustandes überlagert, so werden die Deformationen in Form eines Moirémusters erkennbar. Diese Überlagerung kann in bekannter Weise z. B. mechanisch erfolgen durch Auflegen eines nicht deformierten Musters auf das am Objekt fixierte, deformierte, oder dadurch, daß das Objekt samt Muster im undeformierten Zustand photographiert, das entwickelte Negativ ohne Änderung der Kameraposition an seine ursprüngliche Stelle

gebracht und das deformierte Objekt durch dieses Negativ betrachtet wird. Eine weitere Möglichkeit besteht schließlich darin, die Bilder der beiden Objektzustände photographisch durch Doppelbelichtung zu überlagern. Der Nachteil der relativ langen Verarbeitungszeit für den photographischen Film kann auch hier erfindungsgemäß mit Hilfe elektronischer Bildabtastung und Wiedergabe umgangen werden. Die Bilder der verschiedenen Objektzustände werden auf dem strahlungsempfindlichen Schirm einer Abtaströhre nacheinander erzeugt und nach einer der oben beschriebenen Arten überlagert.

Die Muster (z. B. Streifenmuster) am Objekt müssen so orientiert sein, daß sie im Bild nicht parallel zur Zeilenrichtung der Abtastung verlaufen und müssen vom Abtastsystem noch aufgelöst werden. Nur so ist eine entsprechende Modulation des Videosignals gewährleistet.

Das bei der Überlagerung der verschiedenen Einzelbilder entstehende Moirémuster liegt dann in Form unterschiedlicher Modulationstiefen vor, welche auf eine der oben angeführten Arten in Helligkeitsunterschiede am Monitorbild umgewandelt werden.

Es ist klar, daß mit Moirémethoden auch periodische Bewegungen am Objekt ähnlich wie bei der holographischen Interferometrie nach der Zeitdurchschnittsmethode erfindungsgemäß durchgeführt werden können. Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren prinzipiell mit allen Wellenfelder vorgenommen werden, die eine Abbildung von Gegenständen gestatten. Die Abtastung der Intensitätsverteilung kann sowohl im Vakuum mit Hilfe eines Elektronenstrahles vorgenommen werden, oder durch mechanische Bewegung einer Sonde, die aus einem für die Verwendete Strahlung empfindlichen Empfänger besteht (z. B. ein Mikrophon für Ultraschallwellen) oder mit Hilfe einer matrizenförmigen Anordnung vieler solcher Strahlungsempfänger, die auf eine bekannte Weise, z. B. durch Schieberregister abgetastet werden. Es ist so z. B. denkbar, interferometrische Untersuchungen sehr großer Objekte wie Brücken oder Staumauern mit Mikrowellen vorzunehmen und deren Zustand laufend zu kontrollieren.

Falls bei gewissen Prüfungen die Forderung besteht, daß das zu prüfende Objekt sich an manchen Stellen nicht verändert, so daß sich am Bild an

diesen Stellen eine vorbestimmte Helligkeit ergeben muß, so kann die Prüfung dadurch automatisiert werden, daß wenigstens ein lichtelektrischer Wandler vorgesehen ist, der das vom Empfänger 15 gezeigte Bild oder Teile desselben überprüft, wobei das Ausgangssignal dieses lichtelektrischen Wandlers einer Signal- und/oder Steuereinrichtung zugeführt wird. Die Signaleinrichtung kann beispielsweise von einem über einen Schwellwertschalter angesteuerten Lämpchen gebildet sein, dessen Aufleuchten eine Gut-Schlecht-Anzeige liefert. Dementsprechend kann die Steuereinrichtung Teil einer Sortieranlage sein oder auch mit einer Markiereinrichtung verbunden sein. Beispielsweise kann eine Signal- und/oder Steuereinrichtung so ausgebildet sein, wie dies im österreichischen Patent (A 2507/70) beschrieben ist. An Stelle eines Monitors 15 kann aber auch ein Oszillograph vorgesehen sein, dem wenigstens ein Teil der Videosignale zugeführt werden. Falls nämlich sich in diesem Bildteil das zu prüfende Objekt nicht verändern soll, so müssen sich an dieser Stelle Interferenzstreifen einer ganz bestimmten Frequenz ergeben. Die sich tatsächlich ergebende Frequenz kann mittels des Oszillographen festgestellt und mit einer vorbestimmten Soll-Frequenz verglichen werden. Es kann dies aber auch so geschehen, daß hiezu ein Impulsspeicher verwendet wird, der beispielsweise von einem aufzuladenden Kondensator gebildet ist. Auch ein elektrisches oder mechanisches Zählwerk ist für diesen Zweck geeignet. In jedem Fall wird dann der Zählerstand bzw. die Größe der Aufladung innerhalb einer Zeiteinheit mit einem Soll-Wert verglichen. Entsprechende Vergleichseinrichtungen sind an sich bekannt und beispielsweise im oben zitierten österreichischen Patent beschrieben.

Patentansprüche

1. Holographisch- interferometrisches oder moirémetrisches Verfahren, bei dem ein erstes, ein Hell - Dunkel - Frequenzmuster aufweisendes Bild zunächst gespeichert, hierauf diesem ersten Bild mindestens ein zweites, ebensolches Bild dem ersten überlagert wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Bilder, wie an sich bekannt, vorzugsweise elektronisch abgetastet und dabei Abtastsignale, besonders Videosignale hergestellt werden, und daß ein Ausgangssignal erzeugt wird, das der Überlagerung der Bilder entspricht, wobei dieses Ausgangssignal zur Feststellung von Unterschieden zwischen den Bildern vorzugsweise zu einem weiteren, die Unterschiede in Form von Helligkeitsänderungen anzeigenden Bild verarbeitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, zur fernsehmäßigen Auswertung der primären Interferenzen eines Hologramms mittels eines elektronisch abtastbaren lichtempfindlichen Schirmes, dadurch gekennzeichnet, daß auf den Schirm mittels eines optischen Systems ein Bildebenenhologramm erzeugt wird, und daß der Referenzstrahl annähernd im Zentrum der Aperturblende des optischen Systems oder in einer zu dieser konjugierten Ebene, fokussiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bilder auf einem strahlenempfindlichen, speicherfähigen Schirm vor oder während des Abtastens überlagert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradationskennlinie der Bildwiedergabe in einer Weise verändert und angesteuert wird, bei der entweder nur die Intensitätsmaxima des Hell - Dunkel - Frequenzmusters eine Aufhellung oder nur die Intensitätsminima eine Dunkelstelle am Bildschirm ergeben.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal selektiv verstärkt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil der Impulse des Ausgangssignals hinsichtlich deren Größe und/oder deren Anzahl mit einem vorbestimmten Wert verglichen wird.
7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einer Quelle kohärenten Lichtes mit Spiegeleinrichtungen zum Umlenken des Referenzstrahles sowie einer Fernsehkameraröhre, an die ein Auswertegerät, besonders ein Empfänger angeschlossen ist, gekennzeichnet durch ein an sich bekanntes optisches Hauptsystem (9) zum Abbilden eines Gegenstandes (7) auf den Schirm der Fernsehkameraröhre (12), vorzugsweise mit einer verstellbaren Aperturblende (10), und durch ein optisches Hilfssystem (14) zum Fokussieren des Referenzstrahles (5), zum Erzeugen eines Bildebenenhologrammes, wobei im Strahlengang des Objektstrahles (4), vorzugsweise zwischen dem optischen Hauptsystem (9) und dem Schirm, ein teildurchlässiger Spiegel (11) zum Einblenden des mittels des optischen Hilfssystems (14) fokussierten Referenzstrahles (5) vorgesehen ist.
8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Fernsehkameraröhre (12) eine Speicherröhre, z. B. ein Speichervidikon ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur automatischen Überprüfung des am Empfänger (15) entworfenen Bildes zumindest ein lichtelektrischer Wandler vorgesehen ist, an den eine Signal- und/oder Steuereinrichtung angeschlossen ist.
10. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß an die Speicherröhre ein Impulsspeicher, z. B. ein elektrisches oder mechanisches Zählwerk, angeschlossen ist, dem zumindest ein Teil der von der Speicherröhre abgegebenen Impulse zuführbar ist, und daß eine Vergleichseinrichtung zum Vergleich der gespeicherten Impulse mit

einem vorgegebenen Wert vorgesehen ist, wobei an den Ausgang der Vergleichseinrichtung ein Signal- und/oder Steuereinrichtung angeschlossen ist.

17

Fig. 1

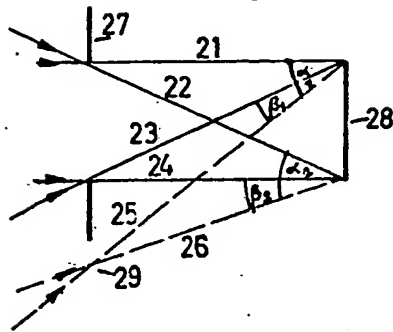


Fig. 2

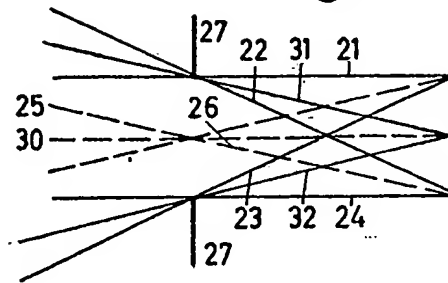
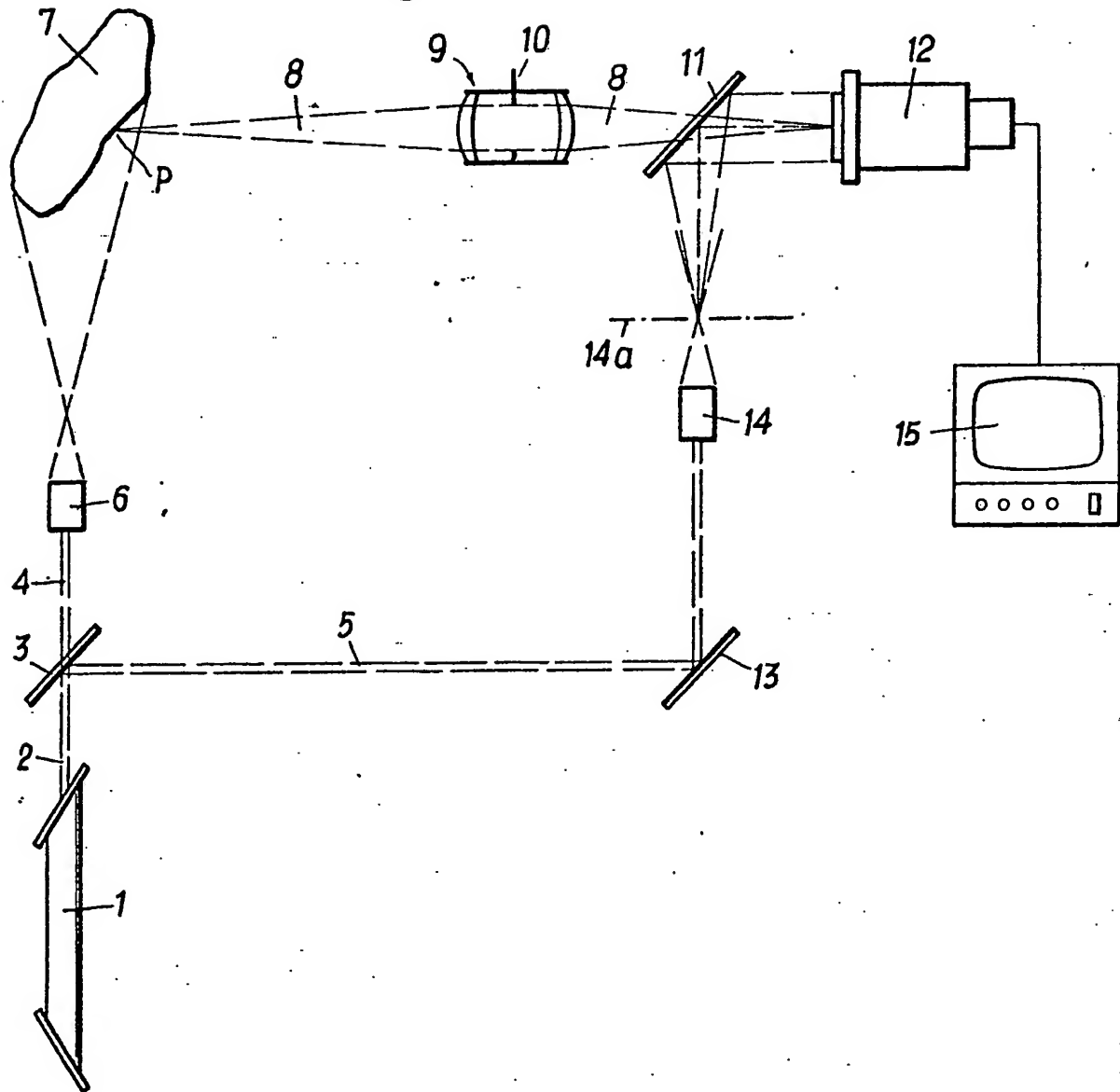


Fig. 7



109883/1273

Fig. 3

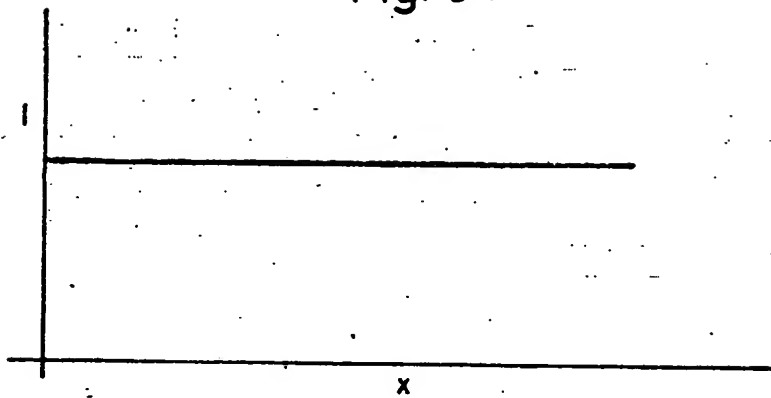


Fig. 4

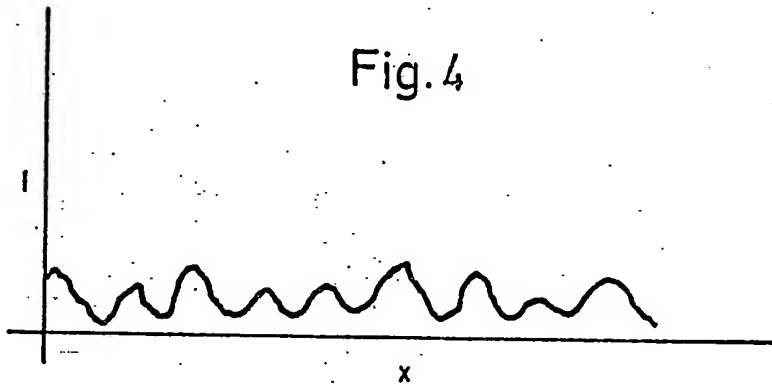


Fig. 5

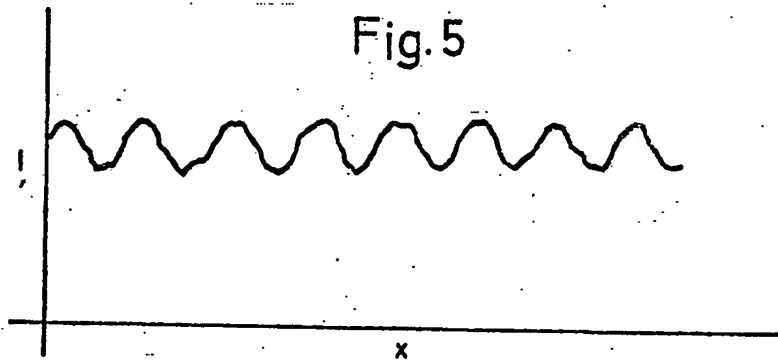
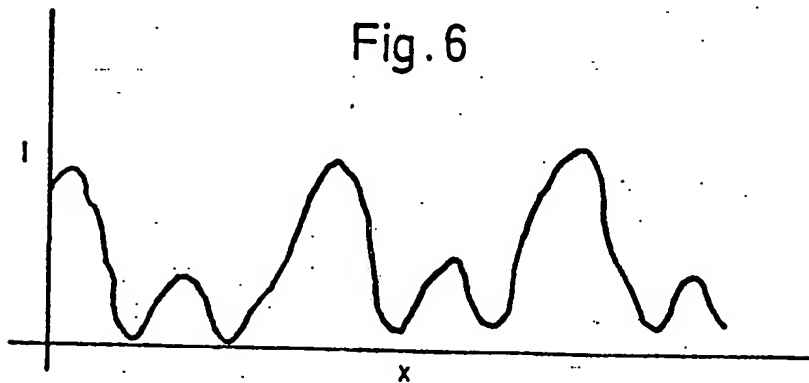


Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.